

Д. А. Седова, И. А. Илларионов, С. В. Гриб*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

*s.v.grib@urfu.ru

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук С. В. Гриб

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ СПЛАВА ЭВТЕКТОИДНОГО СОСТАВА СИСТЕМЫ Ti–Cr

Методом терморентгенографии изучено изменение фазового состава эвтектоидного сплава системы Ti–Cr при нагреве в температурном интервале 30–900 °С и при последующем его охлаждении.

Ключевые слова: терморентгенография, фазовый состав, титановый сплав.

D. A. Sedova, I. A. Illarionov, S. V. Grib

PHASE TRANSFORMATIONS OF Ti – Cr EUTECTOID ALLOY UNDER HEATING

The phase composition of Ti – Cr eutectoid alloy under heating in the temperature range of 30–900 °C and subsequent cooling was studied by means of non-ambient XRD.

Keywords: non-ambient XRD, phase composition, titanium alloy.

Хром является одним из основных легирующих элементов в титановых сплавах, т. к. способствует эффективному упрочнению β -твердого раствора и не вызывает значительного снижения пластических характеристик сплава. Однако, при концентрациях хрома более 15 масс. % при повышенных температурах в β -фазе становится возможным образование хрупкой интерметаллидной составляющей TiCr_2 , что сопровождается потерей пластичности сплава. В связи с этим возникает проблема подавления эвтектоидной реакции в высокохромистых сплавах, чтобы решить эту проблему необходимо знать особенности протекания фазовых превращений в сплаве эвтектоидного состава Ti–15 масс. % Cr.

Запись терморентгенограммы сплава Ti–15 % Cr, закаленного на β -твердый раствор осуществлялась на приборе Bruker D8 ADVANCE с применением высокотемпературной камеры AntonPaar HTK 1200N в вакууме (10^{-2} – 10^{-3} Па). Диапазон исследуемых температур 30–900 °С. Нагрев проводили с шагом 100 °С до температуры 500 °С и 50 °С – до 800 °С. Скорость нагрева до заданной температуры составляла 0,5 °С/с. Съемка дифрактограмм велась в фильтрованном $\text{CuK}\alpha$ -излучении в

интервале углов Вульфа-Брэгга $2\Theta = 36\text{--}74^\circ$ со скоростью записи $0,75^\circ/\text{мин.}$

Данные терморентгенографии (рис. 1) показали, что в температурном интервале $30\text{--}650^\circ\text{C}$ фазовые превращения в сплаве Ti–15%Cr протекают в соответствии с равновесной диаграммой состояния системы Ti–Cr. Так, в интервале температур до 300°C сплав находится в однофазном β -состоянии, хотя процессы, связанные с распадом метастабильной β -фазы уже получают свое развитие: уширение, а также заметное раздвоение линий β -фазы на дифрактограммах свидетельствует о том, что β -матрица представлена двумя твердыми растворами – обогащенным ($\beta_{\text{обог}}$) и обедненным ($\beta_{\text{обед}}$) по хрому.

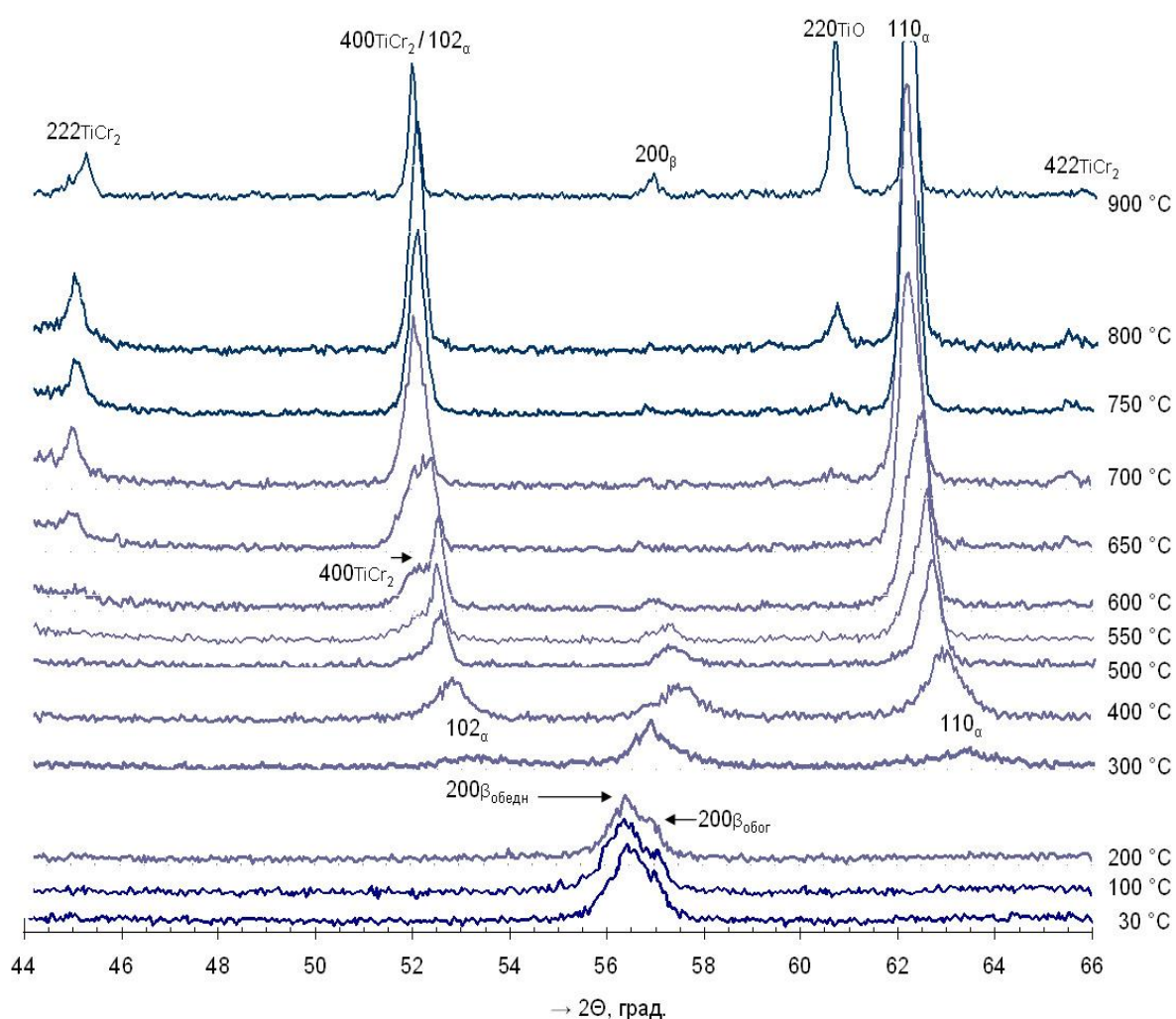


Рис. 1. Фрагменты дифрактограмм сплава Ti–15%Cr, закаленного на β -твердый раствор и подвергнутого нагреву в вакууме до различных температур в интервале $30\text{--}900^\circ\text{C}$

Дальнейшее повышение температуры выше 300°C способствует выделению из обедненного β -твердого раствора α -фазы. При температурах выше 500°C обогащенные по хрому микрообъемы β -фазы теряют

стабильность по отношению к интерметаллиду TiCr_2 : видно нарушение симметрии 102α линии со стороны меньших углов Вульфа-Брэгга, где находится линия 400 TiCr_2 . И при 600°C линии TiCr_2 фазы отчетливее проявляются на дифрактограммах. К 650°C метастабильный β -твердый раствор практически полностью претерпевает превращение по эвтектоидной реакции $\beta \rightarrow \alpha + \text{TiCr}_2$: интенсивность линий β -фазы снизилась практически до уровня фона, тогда как интенсивность линий вторых фаз (α и TiCr_2) заметно увеличилась. В соответствии с равновесной диаграммой $\text{Ti}-\text{Cr}$, последующее повышение температуры должно способствовать обратной реакции $\alpha + \text{TiCr}_2 \rightarrow \beta$, т. е. растворению выделившихся α - и TiCr_2 -фаз и переходу в однофазное β -состояние, однако, этот процесс затрудняется в связи с тем, что в температурном интервале $650\text{--}900^\circ\text{C}$ активно протекает процесс окисления сплава, о чем свидетельствует появление линий, соответствующих оксидным фазам на дифрактограммах, а кислород, как известно, стабилизирует α -фазу, препятствует ее растворению и, тем самым, повышает температуру перехода в однофазное β -состояние. Последовательное охлаждение с 900°C до комнатной температуры не приводит к изменению фазового состава сплава, на дифрактограммах присутствуют линии пяти фаз – β , α , TiCr_2 , TiO TiO_2 (рис. 2).

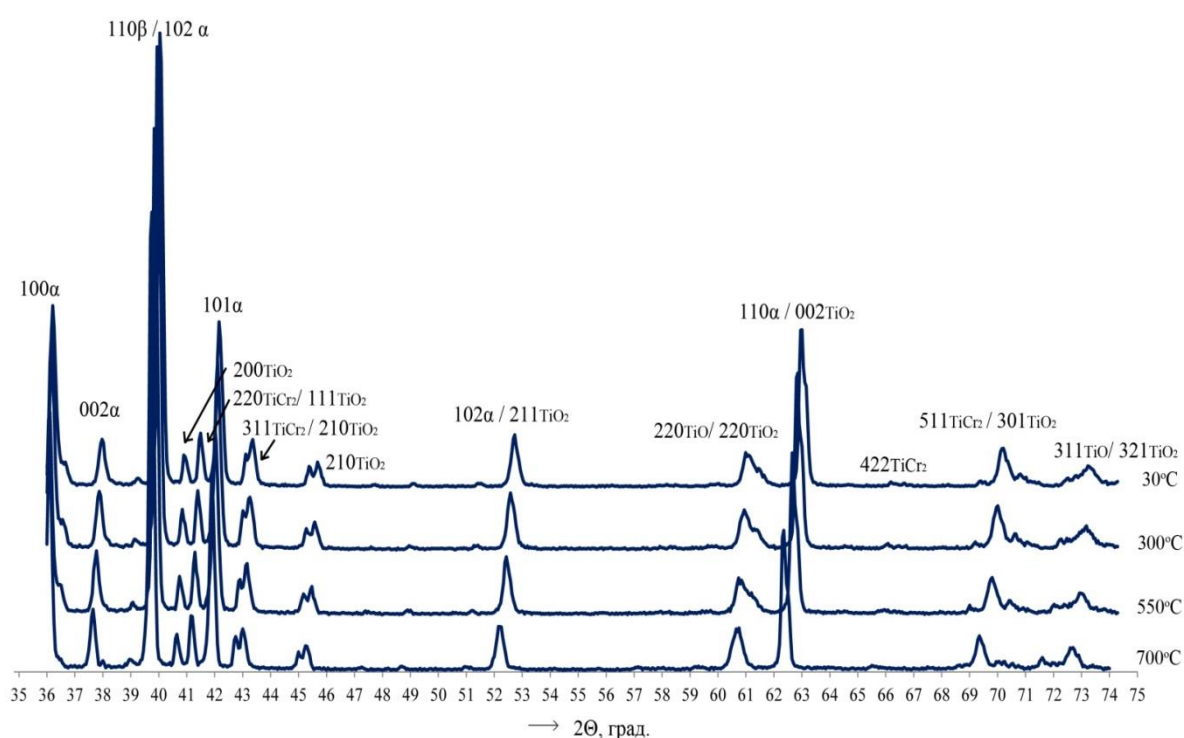


Рис. 2. Дифрактограммы сплава $\text{Ti} - 15\%\text{Cr}$ последовательно охлажденного с 900°C до $700, 550, 300$ и 30°C

Как показал расчет периодов решеток фаз, выделяющихся в сплаве $\text{Ti}-15\%\text{Cr}$ в исследуемом температурном интервале $30\text{--}900^\circ\text{C}$, с

изменением температуры существенно изменяется период β -фазы. Так, в исходном состоянии после закалки период β -фазы составил 0,3233 нм. Проведение последующего нагрева до 30 °С способствовало получению двух твердых растворов – обогащенного и обедненного по хрому с периодами решетки 0,3234 и 0,3262 нм соответственно (рис. 3). Так как атомный радиус хрома (0,127 нм) меньше, чем у титана (0,146 нм) [1], то увеличение содержания хрома в β -твердом растворе приводит к сжатию кристаллической решетки β -фазы, а следовательно, к уменьшению ее периода.

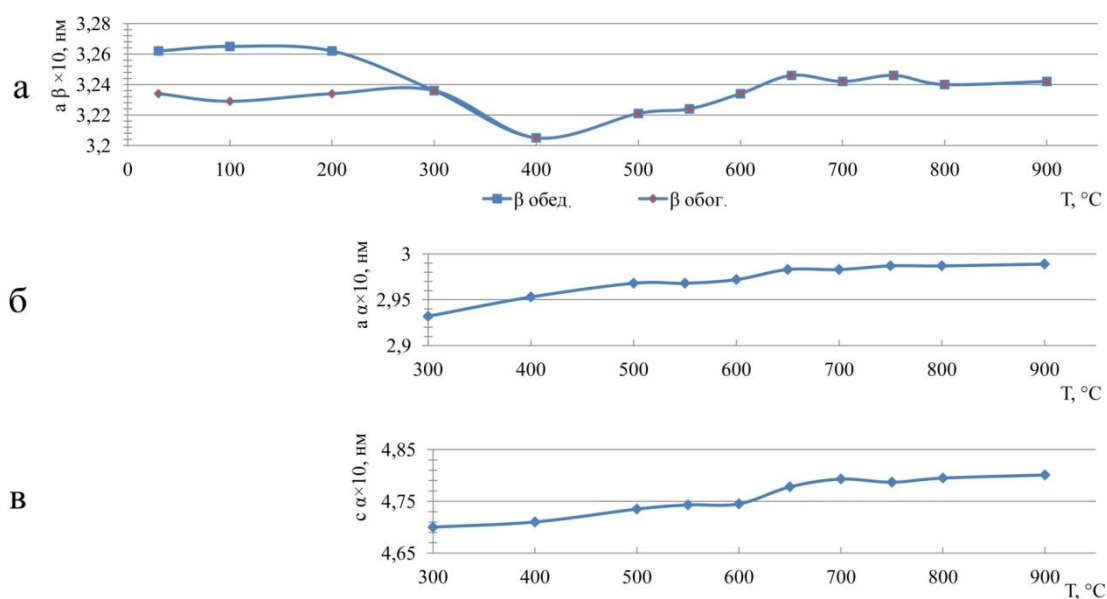


Рис. 3. Изменение периодов решетки β - и α -фаз от температуры нагрева: а – период β -фазы; б, в – периоды α -фазы

Выделение α -фазы при 300 °С способствует исчезновению расслоения β -твердого раствора по составу ($a_{\beta} = 0,3236$ нм), а увеличение ее объемной доли в температурном интервале 300–400 °С способствует снижению периода β -фазы до 0,3204 нм вследствие ее обогащения по хрому. Последующее выделение TiCr_2 -фазы при более высоких температурах (400–650 °С) способствует обеднению β -фазы по хрому, и как следствие, увеличению ее периода до 0,3248 нм. При температурах более 650 °С период β -фазы не изменяется.

Периоды α -фазы увеличиваются во всем температурном интервале (при 300 °С $a_{\alpha} = 0,2932$ нм, $c_{\alpha} = 0,4700$ нм, при 900 °С $a_{\alpha} = 0,2989$ нм, $c_{\alpha} = 0,4801$ нм), что может быть связано с термическим расширением решетки. Кроме того, увеличению периодов решетки α -фазы может способствовать кислород, вследствие его внедрения в октаэдрические поры решетки α -фазы.

Температура нагрева не оказывала влияния на значение периода решетки интерметаллидной TiCr_2 -фазы, который составил 0,6652 нм.

Рассчитанные значения периодов решеток оксидных фаз составили $a_{\text{TiO}} = 0,4293$ нм и $a_{\text{TiO}_2} = 0,4580$ нм, $c_{\text{TiO}_2} = 0,2950$ нм, что хорошо согласуется с литературными данными [2].

Таким образом, установлено, что при нагреве до 650 °С закаленного на β -твердый раствор сплава Ti–15%Cr реализуется $\beta \rightarrow \alpha + \text{TiCr}_2$ – превращение, однако дальнейшее повышение температуры способствует окислению сплава, которое препятствует протеканию обратного $\alpha + \text{TiCr}_2 \rightarrow \beta$ -превращения и, тем самым, способствует сохранению многофазного состояния (β , α , TiCr_2 , TiO , TiO_2) при температурах, отвечающих согласно равновесной диаграмме Ti–Cr, β -области. Рассчитаны периоды кристаллических решеток фаз.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках проектной темы (госзадание № 11.1465.2014/К).

ЛИТЕРАТУРА

1. Цвиккер У. Титан и его сплавы. М. : Металлургия, 1979. 510 с.
2. Горелик С. С., Скаков Ю. А., Расторгуев Л. Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ: учеб. пособие М. : МИСИС, 1994. 328 с.